



①⑨ BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ Offenlegungsschrift
⑩ DE 44 32 041 A 1

⑤⑦ Int. Cl. 6:
B 21 D 7/00

②① Aktenzeichen: P 44 32 041.8
②② Anmeldetag: 9. 9. 94
④③ Offenlegungstag: 14. 3. 98

DE 44 32 041 A 1

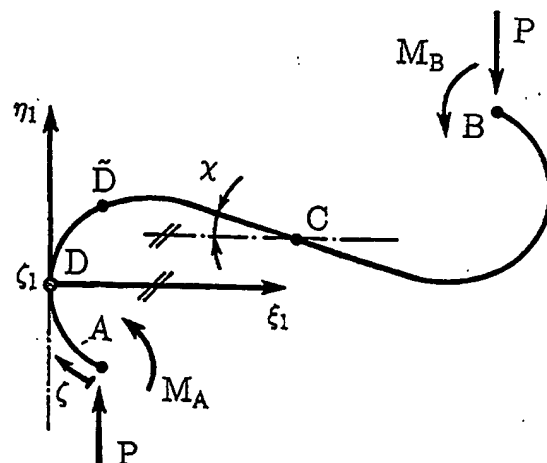
⑦① Anmelder:
Reigl, Martin, Dipl.-Ing., 80333 München, DE

⑦② Erfinder:
gleich Anmelder

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑥④ Verfahren zum freien Biegen von Rohren, Stäben und dergleichen in einer Ebene

⑤⑦ Das endgesteuerte freie Biegen in einer Ebene ließ sich bisher nur für Biegeformen anwenden, deren Krümmungsrichtung sich nicht umkehrte, also etwa Kreis-, Ellipsen- oder Spiralbögen. Das neue Verfahren soll es ermöglichen, in einem Arbeitsschritt auch S-Bögen herzustellen, also Biegeformen mit wechselnder Krümmungsrichtung.
Auf den Rändern (A), (B) des Werkstücks werden je ein Fließbereich (D, D̃) erzeugt und dann in Richtung der Werkstückmitte (C) synchron verschoben. Die Fließbereiche werden so gewählt, daß sich die gewünschte Krümmungsverteilung einstellt. Dies geschieht durch Bewegen der eingespannten Werkstückenden (A), (B) mit Hilfe einer numerischen Wegsteuerung, die aufgrund einer Berechnung mit den an den Enden wirkenden Biegemomenten (M_A), (M_B) und Kräften (P) durchgeführt wird.
Das freie Biegen von Rohren, Stäben und dergleichen in eine S-Form eignet sich besonders für Kleinserien, da es bei verschiedenen Biegeradien mit nur einem Satz Werkzeuge auskommt und formabhängige Werkzeugkosten und Umrüstzeiten dadurch entfallen.



DE 44 32 041 A 1

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum freien Biegen von Rohren, Stäben und dergleichen in einer Ebene, bei dem das Werkstück an seinen Enden in Einspannwerkzeugen unverrutschbar gehalten wird, wobei die Einspannwerkzeuge sich in einer Ebene beliebig verschieben und drehen können, so daß beliebige in der Ebene liegende Kräfte und Kräftepaare, also Biegemomente, über die Einspannwerkzeuge auf die Enden des Werkstückes wirken können, wobei die Bewegungen der Einspannwerkzeuge mit den Werkstückenden so gesteuert werden, daß sich auf dem Werkstück an der Stelle des betragsmäßig größten Biegemoments ein Fließbereich ausbildet und der Fließbereich längs des Werkstücks wandert und dabei die gewünschte, plastische Werkstückkrümmung hinter sich läßt und eine zugehörige Vorrichtung zum freien Biegen von Rohren, Stäben und dergleichen in einer Ebene, bei der das Werkstück an seinen Enden in Einspannwerkzeugen unverrutschbar gehalten wird, wobei die Einspannwerkzeuge sich in einer Ebene beliebig verschieben und drehen können, so daß beliebige in der Ebene liegende Kräfte und Kräftepaare, also Biegemomente, über die Einspannwerkzeuge auf die Enden des Werkstückes wirken können, wobei die Bewegungen der Einspannwerkzeuge mit den Werkstückenden so gesteuert werden, daß sich auf dem Werkstück an der Stelle des betragsmäßig größten Biegemoments ein Fließbereich ausbildet und der Fließbereich längs des Werkstücks wandert und dabei die gewünschte, plastische Werkstückkrümmung hinter sich läßt.

In "Lippmann, H.: Free rigid/plastic plane bending of a slender beam. Ing.-Arch. 60 (1990) 293—302" ist ein Verfahren bekannt, bei dem ein Werkstück, bei dem nur an seinen Enden Kräfte und Momente angreifen, durch Bewegen der Enden, infolge Biegung, in eine gewünschte Form gebracht wird. Dies geschieht durch Ausbildung eines Fließgelenkes, das entlang des Stabes bewegt wird. Die Vorteile des Verfahrens gegenüber anderen Verfahren sind:

- Für verschiedene Kurvenformen benötigt man NICHT verschiedene Werkzeuge.
- Das Umstellen des Verfahrens auf eine andere Biegeform geht sehr schnell vonstatt, da keine mechanischen Teile, sondern nur das Steuerprogramm geändert werden muß.
- Das Werkstück bleibt, abgesehen von den eingespannten Enden, frei von Kratzern, Riefen oder dergleichen, die sonst entstehen, wenn Walzen, Stempel oder andere Werkzeuge am ganzen Werkstück angreifen.

Das Verfahren ist aber, bis auf einen Sonderfall, nur aufgabenhaft dargestellt. Eine allgemeine, anwendbare Lösung der Aufgabe, wie sie zur Durchführung eines realen Biegeprozesses notwendig ist, wird nicht gegeben und läßt sich auch nicht ableiten. Auch bezieht sich der Spezialfall auf einen Kreisbogen, wobei hier von einem nichtrealen, starr-idealplastischen Werkstoff ausgegangen wird, dessen rein geometrische Lösung sich so nicht auf reale Werkstoffe übertragen läßt. Wie Werkstücke gebogen werden können, daß sie eine S- oder schlangenförmige Krümmungsform erhalten, ist nicht angegeben und läßt sich aus dem Angegebenen auch nicht ableiten.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, S-förmige

Krümmungsformen von Stäben und dergleichen zu erzeugen, wobei die Krümmungsform so weit wie möglich nach Wunsch erzielt wird.

Die erfindungsgemäße Lösung dieser Aufgabe besteht bei einem Verfahren der eingangs bezeichneten Gattung darin, daß sich gleichzeitig mit dem Fließbereich, der an der Stelle des größten, positiven Biegemoments auftritt, ein zweiter Fließbereich an der Stelle, an der das kleinste, negative und betragsmäßig ebenfalls große Biegemoment wirkt, ausbildet, oder umgekehrt, wobei die beiden Fließbereiche Krümmungen mit verschiedenen Vorzeichen verursachen, wobei sich die beiden Fließbereiche an den Enden des Werkstückes ausbilden, dann entlang des Werkstücks auf die Mitte des Werkstücks zu wandern und dabei den gewünschten Krümmungsverlauf hinter sich lassen, wodurch ein S-förmiger Bogen entsteht, an dessen Randbereichen sich eine vorgebbare Krümmung einstellt, wobei die dazu erforderlichen Bewegungen der Einspannwerkzeuge über einen Computer gesteuert werden, der die Krümmungsform und daraus folgend die Werkzeugbewegungen in einzelnen Zeitschritten berechnet, wobei bei dieser Berechnung der Krümmungsform von einer Belastung des Werkstücks ausgegangen wird, die aus den Biegemomenten, die bei den Fließbereichen wirkt, folgt, die wiederum aus den vorgegebenen Krümmungen dort resultieren, wobei die dazu erforderliche Abhängigkeit von Werkstückkrümmung und auftretendem Biegemoment in einem vorausgehenden Biegeversuch in der gleichen Vorrichtung und mit einem anderen Werkstück aus gleichem Material und gleichen Querschnittsabmessungen ermittelt werden kann, bei dem die Einspannwerkzeuge erzwingenmaßen so bewegt werden, daß eine Kreisbogenform der Werkstückmittellinie mit zeitlich variablem, mit der Zeit kleiner werdendem Kreisbogenradius entsteht, und das dazu erforderliche Biegemoment über Meßvorrichtungen, die an den Einspannwerkzeugen angebracht sind, gemessen und gespeichert wird.

Die bisher bekannten Fließgelenke werden hier durch Fließbereiche ersetzt, da man unter einem Fließgelenk eine lokal eng begrenzte Stelle versteht, hier aber durchaus breitere Bereiche auftreten können. Durch das erfindungsgemäße Ausbilden eines gleichzeitigen zweiten Fließbereichs, der nur dann erzeugt werden kann, wenn der Momentengradient so steil ist, daß an einer anderen Stelle ein Biegemoment mit entgegengesetztem Vorzeichen auftritt, gelingt es, entgegengesetzte Krümmungen herzustellen. Mit nur einem Fließbereich, wie in "Lippmann, H.: Free rigid/plastic plane bending of a slender beam. Ing.-Arch. 60 (1990) 293—302" angegeben, können diese Formen in diesem Ausmaß nicht gebogen werden, da sich bei einem vorgekrümmten Werkstück nicht mehr an beliebiger Stelle ein Fließbereich erzeugen läßt. In der Praxis hat sich das beschriebene Verfahren bestens bewährt und liefert Werkstückformen mit guter Genauigkeit.

Im folgenden wird die Erfindung anhand eines Ausführungsbeispiels näher erläutert.

Fig. 1 zeigt in schematischer Darstellung ein S-förmiges Werkstück während des Biegeprozesses mit Bezeichnungen.

Im ersten Biegestadium werden an den Rändern A und B zwei zueinander symmetrische Fließbereiche aufgebaut, die dann beide synchron und punktsymmetrisch in Richtung der Mitte C des Werkstücks wandern. Dies geschieht aufgrund der örtlichen Symmetrie durch gleiche Belastung an den Enden A und B (gleiche Kraft P,

gleiche Biegemomente $M_A = M_B$). Aufgrund der Symmetrie ist nur der linke Teil des Stabes näher beschrieben, für den rechten Teil gilt das gleiche analog. Die mit D bezeichnete Stelle gibt den Ort des maximalen (oder minimalen, aber betragsmäßig ebenfalls maximalen) Biegemoments an. Zwischen A und D und zwischen C und D ist das Biegemoment jeweils betragsmäßig kleiner. Wegen der Symmetrie ist das Biegemoment in C gleich Null. Die Kraft P muß parallel zur Tangente in D verlaufen, damit das Moment in D maximal ist. Die Biegemomentenverteilung ergibt sich in dem angegebenen ζ_1 - η_1 - ζ_1 -Koordinatensystem wie folgt aus dem Gleichgewicht:

$$M(Z) = M(Z_D) - P \cdot a_0 \cdot Z_1(Z)$$

wobei Z_1 , η_1 , Z_1 und Z dimensionslose Koordinaten sind, die auf die Anfangslänge a_0 des Werkstücks bezogen sind. Z ist eine Bogenkoordinate entlang des Werkstücks.

Das Moment in D, $M(Z_D)$, ist bekannt, da dort die gewünschte Krümmung gegeben ist, und über das Materialgesetz die Beziehung zwischen Krümmung und Moment bekannt ist. Falls die Kraft P ebenfalls bekannt ist, kann an jedem Ort des Balkens mit der oben angegebenen Gleichgewichtsbeziehung das Biegemoment, über das Materialgesetz die Krümmung der Biegeform an jeder beliebigen Stelle und über die Krümmung die Biegeform und damit die zum Biegen erforderliche Lage und Verschiebung und Verdrehung der Einspannwerkzeuge berechnet werden. Die Kraft P läßt sich aber iterativ berechnen durch die o.g. Randbedingung, daß in der Mitte des Stabes das Moment Null ist.

Ist zum Beispiel ein S-Bogen gewünscht, an dessen Rändern ein konstanter Krümmungsradius vorhanden ist, so wird das Moment in D während der Wanderung des Fließbereiches und des Punktes D zeitlich konstant gehalten. Ein Bereich von C bis \bar{D} verformt sich nur elastisch, bleibt also nach dem Ausspannen des Werkstücks gerade, und der Bereich zwischen D und \bar{D} verformt sich in Abhängigkeit von Querschnittsgeometrie, Stablänge und Materialgesetz, kann dort also nicht nach Belieben geformt werden, im Gegensatz zu dem Bereich zwischen A und D mit konstanter, wunschgemäßer Krümmung.

Das beschriebene Beispiel läßt sich mit einem Stab aus dem hypothetischen starridealplastischen Werkstoff nach "Lippmann, H.: Free rigid/plastic plane bending of a slender beam. Ing.-Arch. 60 (1990) 293-302" gar nicht durchführen, selbst wenn es so einen Stab gäbe. Hierzu ist ein Stabmaterial erforderlich, daß die in Realität auftretenden Phänomene Elastizität oder Verfestigung aufweist.

Zur Bestimmung des Materialgesetzes, also des Zusammenhangs zwischen Biegemoment und Krümmung läßt sich an derselben Maschine, an der das beschriebene Verfahren durchgeführt wird, ein vorausgehender Biegeversuch mit einem gleichen Stab machen, wobei hier nur eine Kreisbogenform erzeugt wird, deren Radius mit der Zeit immer kleiner wird, so daß man die Krümmung der Biegeform in Abhängigkeit vom Biegemoment, also das gewünschte Materialgesetz, erhält, wenn das zeitabhängige Biegemoment gemessen wird und mit den Verschiebungen der Einspannwerkzeuge gespeichert wird. Hierzu und generell zum Überprüfen der Lasten während des Biegens nach dem beschriebenen Verfahren, wobei letzteres nicht erforderlich ist, dienen Meßvorrichtungen für Biegemomente, die aus

Hohlwellen bestehen, die mit Dehnungsmeßstreifen bestückt sind. Hohlwellen haben den Vorteil großer Steifigkeit und bei genügend dünner Wandstärke trotzdem noch mit Dehnungsmeßstreifen gut meßbarer Dehnungen.

Patentansprüche

1. Verfahren zum freien Biegen von Rohren, Stäben und dergleichen in einer Ebene,

— bei dem das Werkstück an seinen Enden in Einspannwerkzeugen unverrutschbar gehalten wird,

— wobei die Einspannwerkzeuge sich in einer Ebene beliebig verschieben und drehen können,

— so daß beliebige in der Ebene liegende Kräfte und Kräftepaare, also Biegemomente, über die Einspannwerkzeuge auf die Enden des Werkstückes wirken können,

— wobei die Bewegungen der Einspannwerkzeuge mit den Werkstückenden so gesteuert werden, daß sich auf dem Werkstück an der Stelle des betragsmäßig größten Biegemoments ein Fließbereich ausbildet und der Fließbereich längs des Werkstücks wandert und dabei die gewünschte, plastische Werkstückkrümmung hinter sich läßt, dadurch gekennzeichnet,

— daß sich gleichzeitig mit dem Fließbereich, der an der Stelle des größten, positiven Biegemoments auftritt, ein zweiter Fließbereich an der Stelle, an der das kleinste, negative und betragsmäßig ebenfalls große Biegemoment wirkt, ausbildet, oder umgekehrt, wobei die beiden Fließbereiche Krümmungen mit verschiedenen Vorzeichen verursachen,

— wobei sich die beiden Fließbereiche an den Enden des Werkstückes ausbilden, dann entlang des Werkstücks auf die Mitte des Werkstücks zu wandern und dabei den gewünschten Krümmungsverlauf hinter sich lassen, wodurch ein S-förmiger Bogen entsteht, an dessen Randbereichen sich eine vorgebbare Krümmung einstellt,

— wobei die dazu erforderlichen Bewegungen der Einspannwerkzeuge über einen Computer gesteuert werden, der die Krümmungsform und daraus folgend die Werkzeugbewegungen in einzelnen Zeitschritten berechnet,

— wobei bei dieser Berechnung der Krümmungsform von einer Belastung des Werkstücks ausgegangen wird, die aus den Biegemomenten, die bei den Fließbereichen wirkt, folgt, die wiederum aus den vorgegebenen Krümmungen dort resultieren,

— wobei die dazu erforderliche Abhängigkeit von Werkstückkrümmung und auftretendem Biegemoment in einem vorausgehenden Biegeversuch in der gleichen Vorrichtung und mit einem anderen Werkstück aus gleichem Material und gleichen Querschnittsabmessungen ermittelt werden kann, bei dem die Einspannwerkzeuge erzwungenermaßen so bewegt werden, daß eine Kreisbogenform der Werkstückmittellinie mit zeitlich variablem, mit der Zeit kleiner werdendem Kreisbogenradius entsteht, und das dazu erforderliche Biegemoment

ment über Meßvorrichtungen, die an den Einspannwerkzeugen angebracht sind, gemessen und gespeichert wird.

2. Vorrichtung zum freien Biegen von Rohren, Stäben und dergleichen in einer Ebene,

— bei der das Werkstück an seinen Enden in Einspannwerkzeugen unverrutschbar gehalten wird,

— wobei die Einspannwerkzeuge sich in einer Ebene beliebig verschieben und drehen können,

— so daß beliebige in der Ebene liegende Kräfte und Kräftepaare, also Biegemomente, über die Einspannwerkzeuge auf die Enden des Werkstückes wirken können,

— wobei die Bewegungen der Einspannwerkzeuge mit den Werkstückenden so gesteuert werden, daß sich auf dem Werkstück an der Stelle des betragsmäßig größten Biegemoments ein Fließbereich ausbildet und der Fließbereich längs des Werkstücks wandert und dabei die gewünschte, plastische Werkstückkrümmung hinter sich läßt, dadurch gekennzeichnet,

— daß an den beiden Einspannwerkzeugen je eine Meßeinrichtung angebracht ist, die die Kräfte und Momente messen, die auf die Werkstückenden über die Einspannwerkzeuge übertragen werden,

— wobei die Meßeinrichtung jeweils zwischen Einspannwerkzeug und zugehörigem Antriebs- und Führungssystem liegt,

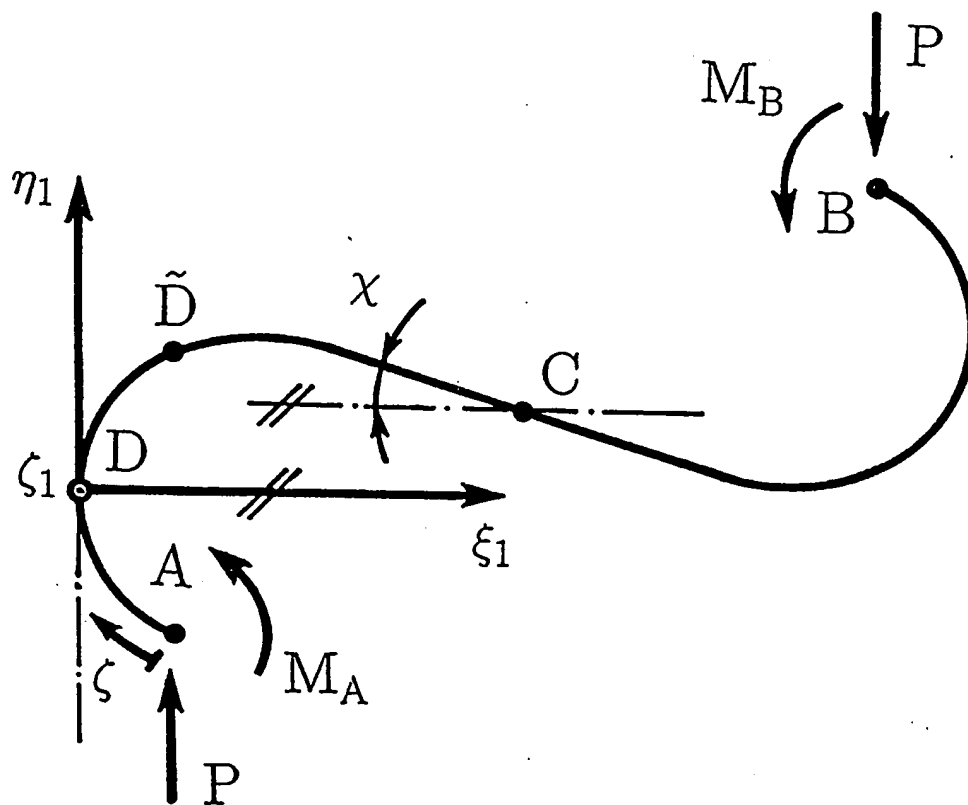
— wobei jede Meßeinrichtung aus einer Hohlwelle besteht, die mit Dehnungsmeßstreifen bestückt ist, wobei die Symmetrieachse der Hohlwelle senkrecht zur Bewegungsebene der Einspannwerkzeuge liegt und durch das jeweilige eingespannte Ende des Werkstücks verläuft.

3. Vorrichtung nach Patentanspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß auf einer Hohlwelle Dehnungsmeßstreifen angebracht sind, die das Torsionsmoment der Hohlwelle messen, was einem Biegemoment auf dem Werkstück entspricht, auf der anderen Hohlwelle Dehnungsmeßstreifen, die die beiden Biegemomente der Hohlwelle messen, was über den Abstand zum Werkstück auf die Kräfte schließen läßt, die an diesem Werkstückende auftreten.

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

Fig. 1



PUB-NO: DE004432041A1

DOCUMENT-IDENTIFIER: DE 4432041 A1

TITLE: Process for coplanar free bending of tubes,
bars or
similar

PUBN-DATE: March 14, 1996

INVENTOR-INFORMATION:

NAME

REIGL, MARTIN DIPL ING

COUNTRY

DE

ASSIGNEE-INFORMATION:

NAME

REIGL MARTIN DIPL ING

COUNTRY

DE

APPL-NO: DE04432041

APPL-DATE: September 9, 1994

PRIORITY-DATA: DE04432041A (September 9, 1994)

INT-CL (IPC): B21D007/00

EUR-CL (EPC): B21D007/00 ; B21D007/12

ABSTRACT:

CHG DATE=19990617 STATUS=O>The process forms curves in a workpiece, by displacing and rotating its ends, which are held tightly in clamps. The applied forces, couples and bending moments generate a region of plastic flow in the workpiece at the position of the largest positive bending moment, and also at the position of the smallest negative bending moment, causing curvatures of different sign to arise. The movements of the clamps are controlled by computer, so that the flow regions start at the edge of the workpiece and shift in towards the centre. The dynamics of the

clamps can be
measured and stored, in order to assist reproduction.